云南水牛乳成分分析及乳能量预测模型的建立

李　清[1,2]　毛华明[1,2*]　李　文[1,3*]　李建华[4]　鲁琼芬[1]　何鸿源[1]　刘　琴[5]

（1.云南农业大学动物科学技术学院，昆明 650201；2.云南省动物营养与饲料重点实验室，昆明 650201；3.湖南工业大学生命科学与化学学院，株洲 412007；4.云南省安宁市畜牧兽医站，昆明 650300；5.云南省昆明市奶牛生产性能测定中心，昆明 650041）

摘　要：本试验旨在分析水牛乳成分中乳脂肪、乳蛋白、乳糖和乳尿素氮含量及其与乳能量的相关性，建立产奶净能的预测模型，用于奶水牛泌乳期科学的饲养管理。试验采取云南省主要奶水牛养殖场和养殖小区的 2014—2015 年 9—12 月份送达昆明市奶牛生产性能测定中心的 304 个原料乳样本，水牛乳的乳成分由昆明市奶牛生产性能测定中心用 MilkoScan FT+FC 乳成分体细胞联用仪和 MilkoScan FT 120 乳成分分析仪测定，鲜乳经真空干燥箱恒温烘干后用氧弹式热量计测定乳能量。结果表明：乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮、乳总固形物含量和乳能量分别为 6.45%、4.55%、5.31%、13.60 mg/dL、18.77%和 4.02 MJ/kg；乳能量分别与乳脂肪和乳蛋白含量呈现极显著正相关（r=0.896 0、r=0.563 0，P<0.01），乳能量受乳脂肪和乳蛋白含量的影响较大。分别以乳脂肪（F），乳脂肪和乳蛋白（F 和 P），乳脂肪、乳蛋白和乳糖（F、P 和 La），乳脂肪、乳蛋白、乳糖和乳尿素氮（F、P、La 和 MUN）为预测因子，预测乳能量（E）的一元、二元、三元及四元回归方程的拟合度均在 0.90 以上，方程分别为：$E=0.388F+1.540$（R^2=0.933 6，P<0.01）；$E=0.373F+0.221P+0.460$（R^2=0.926 7，P<0.01）；$E=0.396F+0.186P+0.105La-0.104$（$R^2$=0.954 0，$P$<0.01）；$E=0.397F+0.187P+0.106La+0.002MUN-0.146$（$R^2$=0.958 0，$P$<0.01）。由此可见，可通过水牛乳中的乳脂肪、乳蛋白、乳糖及乳尿素氮含量预测水牛乳产奶净能。

关键词：水牛乳；乳成分；乳能量；预测模型

收稿日期：2017-01-01

基金项目：云南省生物重大专项——奶业专项（2014ZA002）；湖南省科技计划项目（2016NK2096）；中国博士后面上项目（2016M592456）；长沙市科技局重点项目(kh16011067)

作者简介：李　清（1971-），女，籍贯？，副教授，博士，主要从事动物营养研究。E-mail: 814318012@qq.com

*通信作者：毛华明，教授，博士生导师，E-mail: maohm@vip.sina.com；李　文，副教授，E-mail: 331631693@qq.com

中图分类号：S823

能量在动物生长发育、繁殖、生产过程中是必不可少的，对于泌乳牛，乳的能量即产奶净能（NE_L）。目前，采用净能体系的国家统一用产奶净能、4%乳脂率和产奶量来计算泌乳牛的能量需求[1-6]。乳的能量来源于乳脂肪、乳蛋白、乳糖等乳成分，但是在实际生产中，测定牛乳中的能量相对复杂，而牛乳中的营养成分则是每个养牛场每月必测的指标，较容易获得，乳脂肪和乳蛋白含量不仅可预测乳中能量值，还可预测产奶牛的能量是否平衡[7-8]。美国奶牛饲养标准、英国奶牛饲养标准及中国奶牛饲养标准中通过测定牛乳中的营养成分含量，推算出产奶净能的预测模型，从而指导生产[4-6]。在这些预测模型中所采集的牛奶样本均为荷斯坦血系的奶牛，它们的乳脂肪、乳蛋白、乳糖及乳尿素氮含量均低于水牛乳中相应含量，二者乳成分差异较大，尤其是水牛乳中尿素氮的含量较高，其在乳能量中是否有贡献？对于奶水牛的产奶净能能否套用荷斯坦奶牛的预测模型值得考量。

据联合国粮食及农业组织（FAO）2014 年统计，奶水牛全球存栏量为 19 509.83 万头，鲜水牛乳占总奶量的比重已上升到 12.92%[9]，但水牛奶量单产低，除了加强品种选育提高单产外，合理的饲粮及科学的饲养管理则是提高单产的核心[10]。但目前，尚未有确定的奶水牛营养需要量指导生产，因此获得奶水牛的营养需要量意义重大。本试验用 MilkoScan FT+FC 乳成分体细胞联用仪和 MilkoScan FT 120 乳成分分析仪测定水牛乳成分，用氧弹式热量计测定乳能量，探讨水牛乳能量与乳成分的相关性及通过回归分析建立乳能量的预测模型，得到奶水牛的泌乳能量需要，为奶水牛饲养标准的制定提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

为了使所测定样本具有代表性，试验选择了云南省主要奶水牛养殖地不同的饲养模式及饲粮水平的 3 个奶水牛群体进行分析。3 个群体的试验动物每天饲喂 2 次，自由饮水，每日挤奶 2 次。

槟榔江水牛乳来源于腾冲槟榔江水牛核心养殖场，产犊胎次主要为 2~4 胎、泌乳早中期健康的 184 头槟榔江水牛，饲粮为自配精料、全株玉米青贮、稻草，饲喂量为每头牛每天精料 3~4 kg（根

据产奶量）、玉米青贮 20~25 kg、干稻草自由采食（摄入量 4~5 kg），蛋白质水平为 12%。大理杂交水牛乳来自于大理杂交水牛养殖小区，产犊胎次主要为 1~5 胎、泌乳早中期健康的 56 头大理杂交水牛，饲粮为市售精料、玉米秸秆青贮、稻草、苜蓿干草、羊草，饲喂量为每头牛每天精料 3~4 kg（根据产奶量）、玉米秸秆青贮 15~20 kg、干稻草自由采食（摄入量 4~5 kg），蛋白质水平为 14%；泌乳中期增加苜蓿干草和羊草共 2 kg。德宏杂交水牛乳来源于德宏杂交水牛养殖小区，产犊胎次主要为 1~5 胎、泌乳早中期健康的 64 头德宏杂交水牛，饲粮为自配精料、甘蔗稍、稻草、啤酒糟、王草，饲喂量为每头牛每天精料 1.5~2.0 kg（根据产奶量）、甘蔗稍 20 kg、稻草和王草自由采食（摄入量 4~5 kg），蛋白质水平为 11%；泌乳中期增加啤酒糟 2.0 kg。

1.2　样品采集及测定

分别采集云南省腾冲、大理和德宏 3 个主要奶水牛养殖场和养殖小区的 2014—2015 年 9—12 月份的 304 份牛奶样品进行乳成分含量及乳能量的测定。采样时间均为每月的月底，将每天 2 次的牛奶样品按 1:1 充分混匀后倒入采样瓶摇匀，确保防腐剂溶于牛奶样品，每头牛采样 40~50 mL，分成 2 份，将样品低温保存迅速运输至实验室 2~7 ℃可保存 1 周。

1.3　乳成分含量及乳能量的测定

乳成分含量的测定由昆明市奶牛生产性能测定中心用 MilkoScan FT+FC 乳成分体细胞联用仪和 MilkoScan FT 120 乳成分分析仪测定完成。

乳能量测定在云南农业大学用 BH-IIIS 氧弹式热量计测定：移取 5 mL 牛奶样品放入已知重量的自封袋中称重（自封袋置于古氏坩埚中），放入真空干燥箱（60±5） ℃干燥后用氧弹式热量计测定乳能量。

1.4　数据处理

试验数据整理及作图用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 软件进行，差异显著性检验采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏多重比较法，由模型 $Yi=\mu+Ti+\varepsilon i$（Yi 为观测值，μ 为总体平均值，Ti 为处理效应；εi 为随机误差）获得，结果用平均值±标准差表示。相关性分析采用二元变量相关

分析中的 Pearson 相关系数判定；相关分析模型采用多元线性回归分析得到，用模型 $E=\beta_0+\beta_1F+\beta_2P+\beta_3La+\beta_4MUN$[$\beta_0$为常数，$\beta_1$、$\beta_2$、$\beta_3$、$\beta_4$为偏回归系数，$F$ 为乳脂肪（%），P 为乳蛋白含量（%），La 为乳糖含量（%），MUN 含量为乳尿素氮（mg/dL）；E 为乳能量（MJ/kg）]表示。

2 结 果

2.1 水牛乳成分比较

由表 1 可知，乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮、乳总固形物含量和乳能量的平均值分别为 6.45%、4.55%、5.31%、13.60 mg/dL、18.77%和 4.02 MJ/kg。乳脂肪含量在 3.30%~11.10%，且随泌乳时间的变化而有所上升；乳蛋白含量在 2.84%~6.58%；乳糖含量在 3.09%~5.99%；乳尿素氮含量范围较广，在 1.40~26.60 mg/dL；乳总固形物含量在 11.42%~25.93%。

同一品种不同月份间水牛乳成分比较，腾冲槟榔江水牛乳的乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮、乳总固形物含量和乳能量差异均不显著（P>0.05）；大理杂交水牛乳和德宏杂交水牛乳中的乳蛋白、乳糖、乳总固形物含量和乳能量差异均不显著（P>0.05），但二者 9 月份的乳脂肪、乳尿素氮含量均与 12 月份差异显著（P＜0.05）。

表 1 同一品种不同月份水牛乳成分比较

Table 1 Comparison of buffalo milk composition in different months of the same breed

品种 Breeds	月份 Months	样本数 Sample number	乳脂肪 Milk fat/%	乳蛋白 Milk protein/%	乳糖 Lactose/%	乳尿素氮 Milk urea nitrogen/（mg/dL）	乳总固形物 Milk total solid/%	乳能量 Milk energy/（MJ/kg）
腾冲槟	9	46	6.33±1.30	4.71±0.47	5.39±0.40	11.95±4.91	18.22±1.14	3.86±0.49
榔江水	10	46	6.48±1.31	4.73±0.44	5.42±0.36	12.33±4.86	18.46±1.29	3.91±0.55
牛乳	11	46	6.49±1.27	4.72±0.47	5.38±0.42	11.97±4.91	18.78±1.21	3.96±0.56

Milk of		46						
Tengchon g BLJ buffalo	12		6.52±1.28	4.74±0.39	5.40±0.38	13.71±5.15	18.83±0.97	4.14±0.59
大理杂	9	14	6.08±1.56[b]	4.76±0.73	4.69±0.67	15.71±2.79[b]	19.57±4.53	3.91±0.66
交水牛	104	14	6.19±1.37[ab]	4.78±1.09	4.80±0.73	16.60±2.51[ab]	18.84±3.33	4.02±0.63
乳 Milk	11	14	6.25±1.44[ab]	4.22±0.77	4.94±0.74	16.13±2.20[ab]	19.79±3.09	4.17±0.76
of *Dali*		14						
hybrid buffalo	12		7.08±2.34[a]	4.32±1.03	5.30±0.47	18.01±2.42[a]	19.22±3.34	4.10±1.18
德宏杂	9	16	6.18±0.51[b]	4.03±0.33	5.41±0.16	10.36±3.60[b]	18.00±1.98	3.68±0.40
交水牛	10	16	6.35±0.85[ab]	3.92±0.31	5.37±0.14	11.28±3.40[ab]	18.71±1.91	4.04±0.46
乳 Milk	11	16	6.74±1.09[ab]	3.98±0.78	5.36±0.11	12.00±2.80[ab]	17.96±1.55	3.59±0.57
of		16						
Dehong hybrid buffalo	12		7.23±0.89[a]	4.30±0.54	5.38±0.13	13.20±2.29[a]	18.83±1.63	4.82±0.24
总样本范围 Total sample range (*n*=304)			3.30~11.10	2.84~6.58	3.09~5.99	1.40~26.60	11.42~25.93	2.01~6.16
总样本平均 Total sample mean (*n*=304)			6.45±1.32	4.55±0.61	5.31±0.46	13.60±4.83	18.77±2.05	4.02±0.64

同一品种同列数据肩标不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，无字母或相同小写字母表示差异不显著(P＞0.05)。

In the same breed and column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05).

由表 2 可知，3 个品种水牛乳的乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳总固形物含量和乳能量差异均不显著（P>0.05）；大理杂交水牛乳的乳尿素氮含量分别与腾冲槟榔江、德宏杂交水牛乳的乳尿素氮含量差异显著（P＜0.05），但腾冲槟榔江水牛乳的乳尿素氮含量与德宏杂交水牛乳的乳尿素氮含量差异不显著（P>0.05）。

表 2　不同品种水牛乳成分比较

Table 2　Comparison of different breeds buffalo milk composition

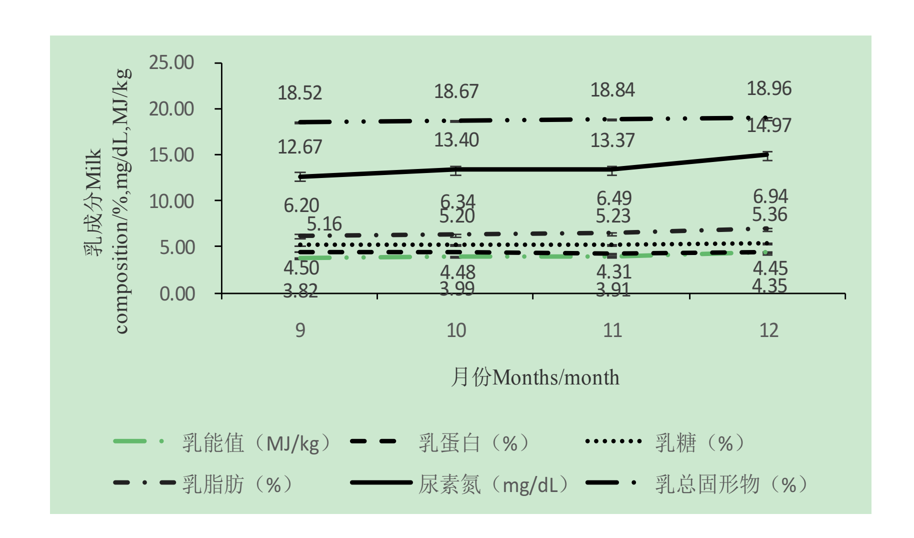
品种 Breeds	乳脂肪 Milk fat/%	乳蛋白 Milk protein/%	乳糖 Lactose/%	乳尿素氮 Milk urea nitrogen/（mg/dL）	乳总固形物 Milk total solid/%	乳能量 Milk energy/（MJ/kg）
腾冲槟榔江水牛乳 Milk of *Tengchong* BLJ buffalo (n=184)	6.40±1.28	4.73±0.47	5.40±0.39	12.49±4.97[bc]	18.57±1.17	3.97±0.50
大理杂交水牛乳 Milk of *Dali* hybrid buffalo (n=56)	6.40±1.71	4.52±0.84	4.93±0.68	16.61±2.47[a]	19.35±3.54	4.05±0.93
德宏杂交水牛乳	6.63±0.93	4.06±0.53	5.38±0.17	11.71±3.98[bc]	18.38±2.10	4.03±0.63

Milk of *Dehong* hybrid

buffalo (*n*=64)

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，无字母或相同小写字母表示差异不显著(P＞0.05)。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05).



数据无字母标注表示差异不显著(P＞0.05)。

Data noted with no letter mean no significant difference (P＞0.05).

图 1　不同月份总样本的乳成分比较

Fig.1　Comparison of milk composition of total samples in different months

由图 1 可知，3 个群体 304 个总样本的乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮、乳总固形物含量和乳能量在月份间差异均不显著（P>0.05）。

2.2　水牛乳能量与乳成分的相关性分析

由表 3 可知，乳能量分别与乳脂肪和乳蛋白含量呈现极显著正相关（r=0.896 0、r=0.563 0，P＜0.01）。

表 3　水牛乳乳能量与乳成分相关性分析

Table 3　Analysis of correlation between energy and milk composition of buffalo milk

指标 Items	乳脂肪 Milk fat	乳蛋白 Milk protein	乳糖 Milk lactose	乳尿素氮 Milk urea nitriogen	乳能量 Milk energy
乳脂肪 Milk fat	1	0.123*	-0.008	-0.071	0.896**
乳蛋白 Milk protein		1	-0.065	0.005	0.563**
乳糖 Milk lactose			1	0.003	0.079
乳尿素氮 Milk urea nitriogen				1	0.029

*表示相关系数在 0.05 水平上显著（双尾），**表示相关系数在 0.01 水平上极显著（双尾）。

* mean correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), ** mean correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

由图2可知，乳能量受乳脂肪及乳蛋白含量的影响较大。

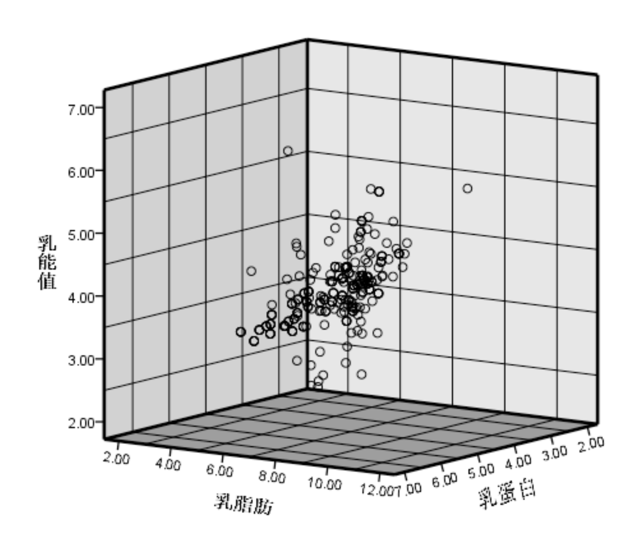


图 2　乳脂肪与乳蛋白和乳能量的三维图

Fig.2 The 3D figure of milk fat and milk protein with milk energy

2.3 回归方程预测乳能量的显著性和拟合度分析

由表 4 可知，试验所得水牛乳能量方程计算结果与中国奶牛饲养标准和中国奶牛饲养标准科研协作组方程计算结果[3-4]接近，分别低于 Musgrave 等[1]、AFRC[5]和 NRC[6]的方程结果 0.082 6、0.041 0 和 0.035 6 MJ/kg，但差异不大。

表 4 不同乳能量预测公式在 4%标准乳下的乳能量比较

Table 4 Comparison of different milk energy prediction formula in 4% standard milk

公式 Formula	乳能量 Milk energy/（MJ/kg）
E=0.388F+1.540	3.092 0
E=0.434 4F+1.437[1]	3.174 6
E=0.406F+1.509[6]	3.133 0
E=0.405 4F+1.506[5]	3.127 6
E=0.415 3F+1.433 7[4]	3.094 9
E=0.415 3F+1.433 6[3]	3.094 8

E：乳能量 milk energy；*F*：4%标准乳 4% standard milk。

由图 3~图 6 可知，回归方程经统计学检验达差异极显著水平（P<0.01）。分别以乳脂肪（F），乳脂肪和乳蛋白（F 和 P），乳脂肪、乳蛋白和乳糖（F、P 和 La），乳脂肪、乳蛋白、乳糖和乳尿素氮（F、P、La 和 MUN）为预测因子，预测乳能量（E）的一元、二元、三元及四元回归方程的拟合度均在 0.90 以上，方程分别为：E=0.388F+1.540 （R^2=0.933 6，残差范围：-1.113 6~1.466 0，P<0.01，n=304）；E=0.373F+0.221P+0.460 （R^2=0.926 7，残差范围：-1.125 0~1.574 1，P<0.01，n=304）；E=0.396F+0.186P+0.105La-0.104 （R^2=0.954 0，残差范围：-0.998 1~1.560 9，P<0.01，n=304）；E=0.397F+0.187P+0.106La+0.002MUN-0.146 （R^2=0.958 0，残差范围：-1.007 0~1.547 2，

$P<0.01$，n=304）。

从拟合度及乳能量的残差（实测值-预测值）可得，分别以乳脂肪、乳蛋白和乳糖，乳脂肪、乳蛋白、乳糖和乳尿素氮为预测因子的三元和四元回归方程的拟合度较好，预测结果较为准确，在只有乳脂肪和乳蛋白的基础上，也可用回归方程预测产奶净能。

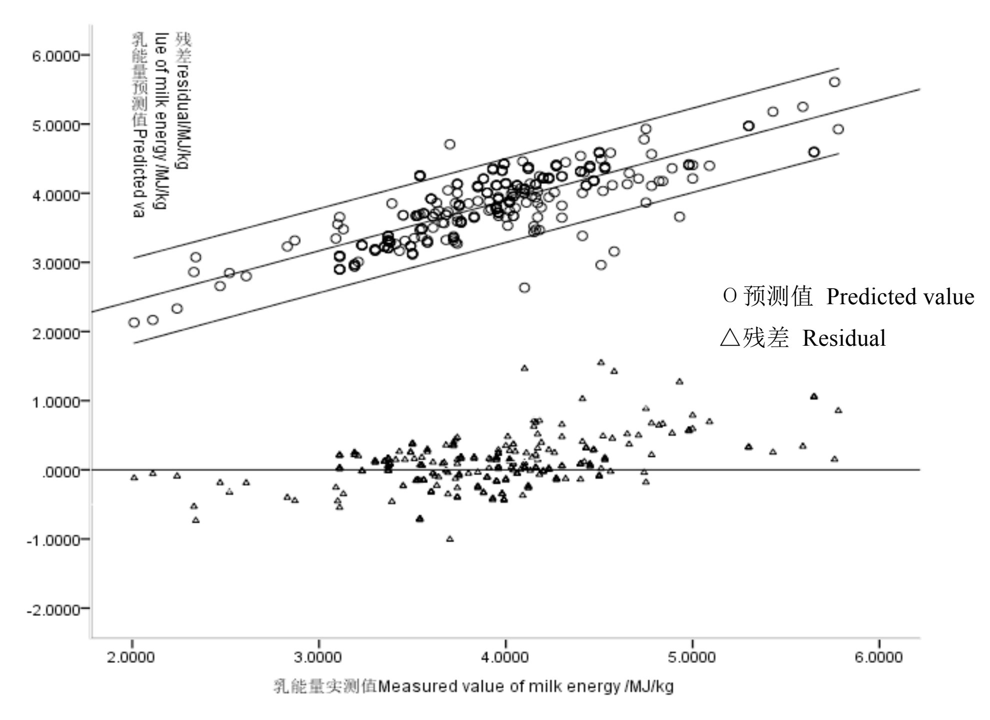


图3 以乳脂肪为预测因子的乳能量预测值及残差的关系散点图

Fig.3 Relationship of scatter diagram between predicted value of milk energy and residual by predictive factors of milk fat

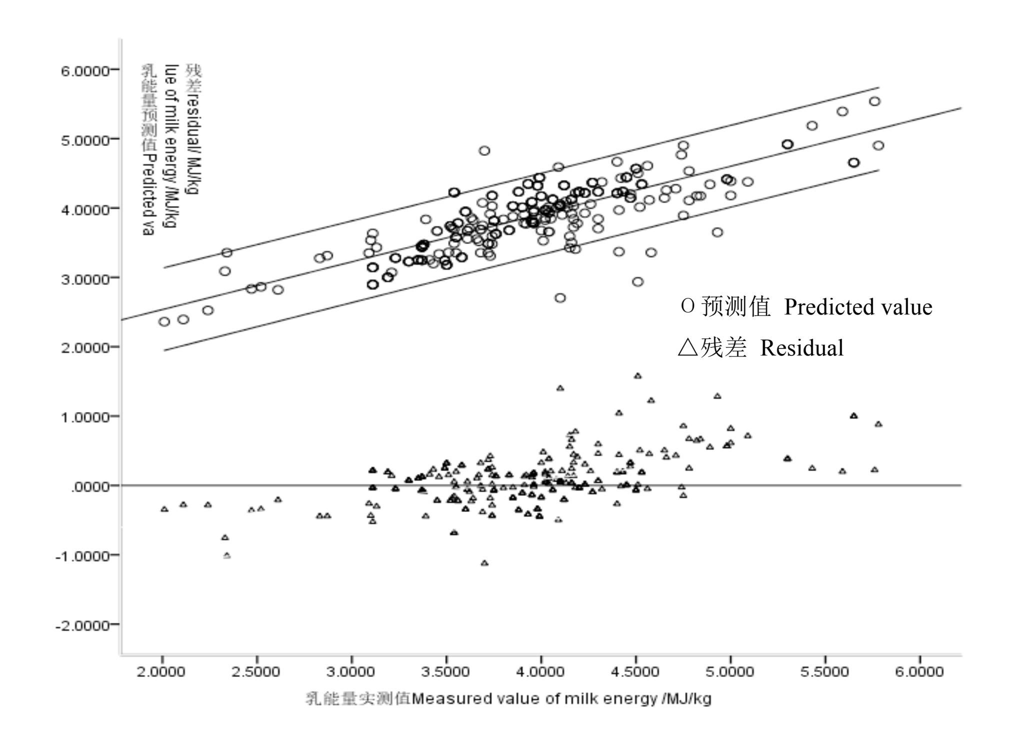


图 4　以乳脂肪和乳蛋白为预测因子的乳能量预测值及残差的关系散点图

Fig.4　Relationship of scatter diagram between predicted value of milk energy and residual by predictive factors of milk fat and milk protein

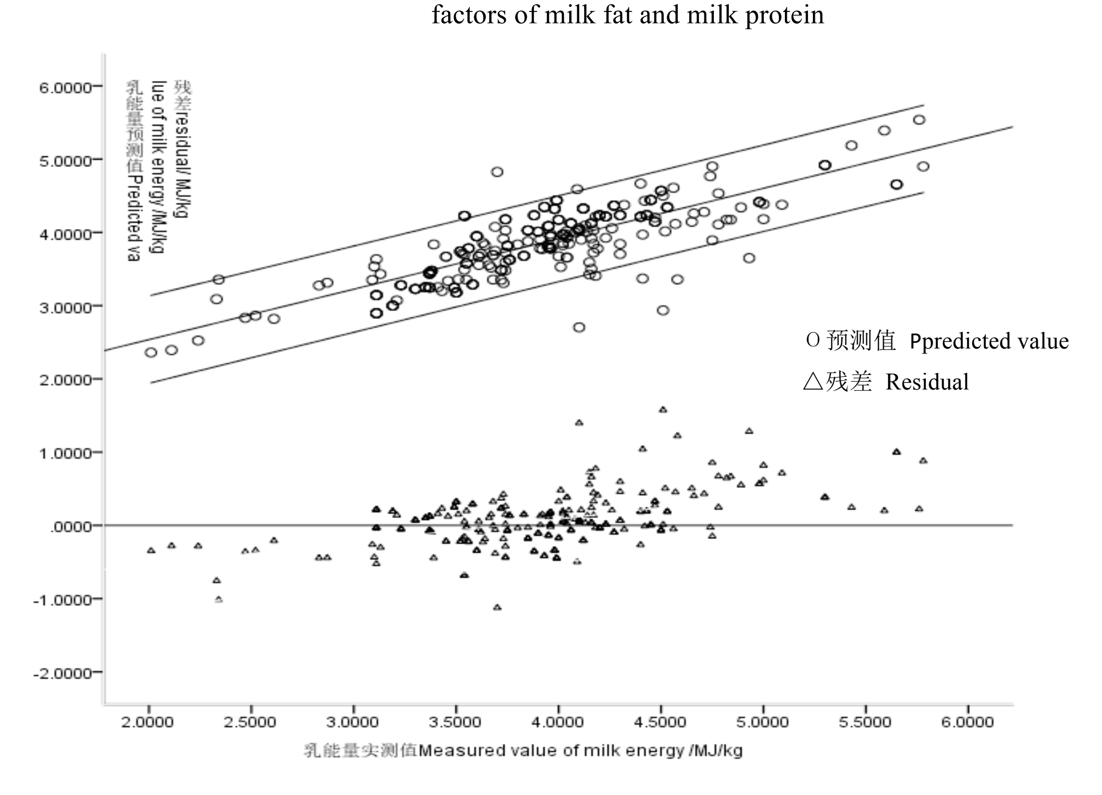


图 5　以乳脂肪、乳蛋白和乳糖为预测因子的乳能量预测值及残差的关系散点图

Fig.5　Relationship of scatter diagram between predicted value of milk energy and residual by predictive

factors of milk fat, milk protein and milk lactose

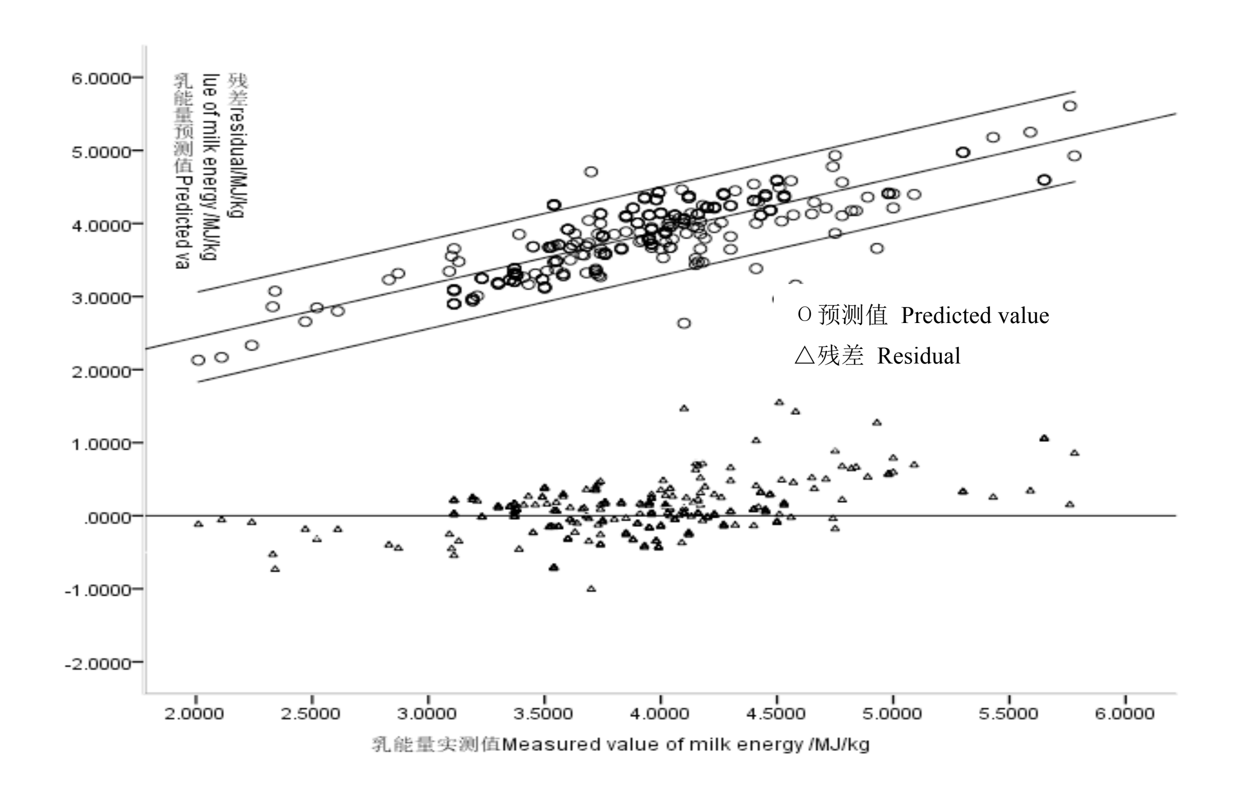


图 6　以乳脂肪、乳蛋白、乳糖和乳尿素氮为预测因子的乳能量预测值及残差的关系散点图

Fig.6　Relationship of scatter diagram between predicted value of milk energy and residual by predictive factors of milk fat, milk protein, milk lactose and milk urea nitrogen

3　讨　论

3.1　乳成分比较及影响因素

不同月份腾冲槟榔江水牛乳的乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮、乳总固形物含量和乳能量差异均不显著，这与整个样本采集期的饲粮组成及饲喂水平无改变有关；大理杂交水牛乳和德宏杂交水牛乳中的乳蛋白、乳糖、乳总固形物含量和乳能量差异均不显著，这是因为乳蛋白和乳糖含量受季节影响不大[5, 11-15]。不同品种的水牛乳的乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳总固形物含量差异不显著，这是因为品种对乳糖和乳蛋白含量的影响非常小[5, 11-15]。乳脂肪含量的均值为 6.45%，低于谢红等[16]、Sun 等[17]、Rafiq 等[18]的研究结果，高于 Islam 等[19]、Javed 等[20]的研究结果，这可能与饲粮中的粗

脂肪含量及所采乳样为放乳前、中和后期或前、中和后期混合样密切相关[21-22]。乳脂肪含量在3.30%~11.10%，在前人研究报道[11, 20, 23-25]的范围内。乳蛋白含量的均值为4.55%，与谢红等[16]、Javed等[20]及邹彩霞等[23]报道一致；乳蛋白含量在2.84%~6.58%，在Nasr[11]、Javed等[20]、邹彩霞等[23]、Claeys等[24]及Zotos等[25]报道的范围内。乳糖含量在3.09%~5.99%，在谢红等[16]和邹彩霞等[23]的研究范围内。乳尿素氮含量范围较广，在1.40~26.60 mg/dL，且大理杂交水牛乳与德宏杂交水牛乳的乳尿素氮和乳脂肪含量呈现相同规律，与Rajala-Schultz等[26]研究的结果一致，乳尿素氮含量与乳脂肪含量呈正相关，且在9月份与12月份出现差异显著，以及大理杂交水牛乳中乳尿素氮含量分别与腾冲槟榔江水牛乳、德宏杂交水牛乳中乳尿素氮含量差异显著，这都与饲粮组成及动物个体氮的代谢密切相关[27]。乳总固形物含量在11.42%~25.93%，在Nasr[11]、Rafiq等[18]报道的范围内。乳能量在2.01~6.16 MJ/kg，均值为4.02 MJ/kg，高于荷斯坦牛奶的乳能量2.84 MJ/kg，低于邹彩霞等[23]和Claeys等[24]报道的4.24~4.78 MJ/kg和4.20~4.70 MJ/kg，这与乳成分受品种、牛的大小、温度、环境条件、管理和卫生的影响有关[11, 28-30]。

3.2　乳成分与乳能量相关性分析

乳能量分别与乳脂肪和乳蛋白含量呈现极显著正相关，与Musgrave等[1]得到的乳脂肪含量与乳热量值存在显著直线关系一致。但乳脂肪含量与乳能量的相关性低于Tyrrell等[2]的结果，这可能是与品种有关，水牛乳有高的乳尿素氮含量，其对乳能量有一定的贡献，从而降低了乳脂肪含量与乳能量的相关性。乳能量受乳脂肪及乳蛋白含量的影响较大，乳中泌乳净能等于乳中各组分燃烧热值的总能，已报道的乳脂、乳蛋白及乳糖的燃烧热分别为38.87、23.89和16.53 MJ/kg，而乳糖的变异程度较小[5]。

3.3　回归方程预测乳能量的分析

早在1928年Gaines提出用含脂4%的校正乳避免牛奶成分的改变而干扰乳成分与乳能量的正常关系，Musgrave等[1]认为4%的校正乳方程将调整牛奶产量的恒定能量值。试验所得乳脂率为4%的水牛乳能量为3.092 0 MJ/kg，在报道的4%乳脂的标准乳能量为3.05~3.14 MJ/kg内[3]，与中国奶牛

饲养标准和中国奶牛饲养标准科研协作组方程计算结果接近[3-4]。试验所得分别以乳脂肪、乳蛋白，乳脂肪、乳蛋白、乳糖，乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮为预测因子的二元、三元及四元回归方程分别与英国 AFRC(1993)奶牛饲养标准中乳能量预测方程[6]，NRC(2001)奶牛饲养标准中乳能量预测方程[5]，中国奶牛饲养标准（2004）中乳能量预测方程[4]及中国奶牛饲养标准科研协作组（1986）中乳能量预测方程[3]中的乳脂肪、乳蛋白和乳糖的系数相差不大，较接近于所报道的乳脂肪的燃烧值 0.388 MJ/kg，而与乳蛋白及乳糖的燃烧值 0.238 和 0.165 MJ/kg 有所差异，这和乳能量受乳脂肪、乳蛋白和乳糖含量共同影响有关[5]。而其方程中的乳脂肪、乳蛋白和乳糖的系数均与邹彩霞等[23]乳能量预测方程中的乳脂肪、乳蛋白和乳糖的系数差异较大，其原因还需进一步分析。

预测方程式的残差范围分别为-1.113 6~1.466 0、-1.125 0~1.574 1、-0.998 1~1.560 9 和-1.007 0~1.547 2，以乳脂肪、乳蛋白、乳糖，乳脂肪、乳蛋白、乳糖、乳尿素氮为预测因子的三元及四元回归方程的残差范围较小，其模型假设的合理性及数据的可靠性更高[31]。

4 结 论

可通过水牛乳中的乳脂肪（F）、乳蛋白（P）、乳糖（La）及乳尿素氮（MUN）含量预测水牛乳产奶净能（E）。方程分别为：$E=0.388F+1.540$ （$R^2=0.933\ 6$，$P<0.01$）；$E=0.373F+0.221P+0.460$ （$R^2=0.926\ 7$，$P<0.01$）；$E=0.396F+0.186P+0.105La-0.104$ （$R^2=0.954\ 0$，$P<0.01$）；$E=0.397F+0.187P+0.106La+0.002MUN-0.146$ （$R^2=0.958\ 0$，$P<0.01$）。

参考文献：

[1] MUSGRAVE S D,SALISBURY G W.The relationship of milk energy and total protein to per cent fat in brown Swiss herd milk[J].Journal of Dairy Science,1952,35(2):174–178.

[2] TYRRELL H F,REID J T.Prediction of the energy value of cow's milk[J].Journal of Dairy Science,1965,48(9):1215–1223.

[3] 中国奶牛饲养标准科研协作组.中国黑白花奶牛乳中各种营养成分及能量间相关性的研究[J].中国畜牧杂志,1987(2):5–7.

[4] 中华人民共和国农业部.NY/T 34–2004 奶牛饲养标准[S].北京:中国农业出版社,2004.

[5] [美]国家科学研究委员会.奶牛营养需要[M].孟庆翔,译.北京:中国农业大学出版社,2002.

[6] ALDERMAN G.Energy and protein requirements of ruminants[M].Wallingford,UK:CABI Publishing,1993.

[7] FRIGGENS N C,RIDDER C,LØVENDAHL P.On the use of milk composition measures to predict the energy balance of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(12):5453–5467.

[8] BRUNLAFLEUR L,DELABY L,HUSSON F.Predicting energy×protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2010,93(9):4128–4143.

[9] 联合国粮农组织统计数据库[EB/OL].http://faostat3.fao.org/compare/Q/QA/E.

[10] 简保权,秦学敏,龚芳.世界水牛奶业发展现状和典型模式分析[J].世界农业,2015(3):115–118.

[11] NASR M A.The impact of crossbreeding Egyptian and Italian buffalo on milk yield and composition under subtropical environmental conditions[J].Journal of Dairy Research ,2016,83(2):196–201.

[12] JENKINS T C,MCGUIRE M A.Major advances in nutrition:impact on milk composition[J].Journal of Dairy Science,2006,89(4):1302–1310.

[13] 塔娜,吉日木图.日粮中添加保护性脂肪对奶牛产奶量及乳成分的影响[J].中国奶牛,2008(9):13–14.

[14] REN D X,ZOU C X,LIN B,et al.A comparison of milk protein,amino acid and fatty acid profiles of river buffalo and their F_1 and F_2 hybrids with swamp buffalo in China[J].Pakistan Journal of Zoology,2015,47(5):1459–1465.

[15] HECK J M L,VAN VALENBERG H J F,DIJKSTRA J,et al.Seasonal variation in the Dutch bovine raw milk composition[J].Journal of Dairy Science,2009,92(10):4745–4755.

[16] 谢红,刘琴,周亚平.云南省奶水牛乳成分与产奶量之间的关系[J].中国奶牛,2011(20):54–57.

[17] SUN Q,LV J P,LIU L,et al.Comparison of milk samples collected from some buffalo breeds and crossbreeds in China[J].Dairy Science & Technology,2014,94(4):387–395.

[18] RAFIQ S, HUMA N, PASHA I,et al.Chemical composition,nitrogen fractions and amino acids profile of milk from different animal species[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2016,29(7):1022–1028.

[19] ISLAM M A,ALAM M K,ISLAM M N,et al.Principal milk components in buffalo,holstein cross,indigenous cattle and red chittagong cattle from Bangladesh[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(6):886–897.

[20] JAVED K,ABDULLAH M,KHALID M S, et al.Inter-relationship of milk constituents with body and udder measurements in NiLi-Ravi buffaloes raised at commercial farms of Pakistan[J].Buffalo Bulletin,2013,32(2):1170–1173.

[21] 刘洪生.影响乳成分的日粮调控技术[J].中国奶牛,2008(3):22–24.

[22] 王雅春,杨雪丽,张淑娟.奶牛放乳前中后期乳成分变化的研究[J].中国奶牛,1997(4):19–20.

[23] 邹彩霞,杨炳壮,韦升菊,等.水牛乳能值与乳成分的相关性研究[J].动物营养学报,2010,22(4):964–968.

[24] CLAEYS W L,VERRAES C,CARDOEN S,et al.Consumption of raw or heated milk from different species:an evaluation of the nutritional and potential health benefits[J].Food Control,2014,42:188–201.

[25] ZOTOS A,BAMPIDIS V A.Milk fat quality of Greek buffalo (*Bubalus bubalis*)[J].Journal of Food Composition and Analysis,2014,33(2):181–186.

[26] RAJALA-SCHULTZ P J,SAVILLE W J A.Sources of variation in milk urea nitrogen in Ohio dairy herds[J].Journal Dairy Science,2003,86(5):1653–1661.

[27] 任春燕,周凌云,卜登攀,等.牛奶尿素氮的主要影响因素及其在奶牛生产中的应用[J].中国畜牧兽

医,2012,39(9):129–133.

[28] FOODA T A,MOURAD K A,MOURAD G.Phenotypic and genetic trends for milk production in Egyptian buffaloes[J].Journal of American Science,2010,6(11):143–147.

[29] ARAÚJO K B S,RANGEL A H N,FONSECA F C E,et al.Influence of the year and calving season on production,composition and mozzarella cheese yield of water buffalo in the State of Rio Grande Do Norte,Brazil[J].Italian Journal of Animal Science,2012,11(1):373–383.

[30] BHUTKAR S S,THOMBRE B M,BAINWAD D V.Effect of non-genetic factors on production traits in Deoni cows[J].Journal of Agriculture and Veterinary Science,2014,7(12):15–19.

[31] 冯岩松.SPSS 22.0 统计分析应用[M].北京:清华大学出版社,2015:6.

Establishment of Prediction Model of Milk Energy and Milk Composition Analysis of *Yunnan* Buffalo

LI Qing[1.2] MAO Huaming[1.2*] LI Wen[1,3*] LI Jianhua[4] LU Qiongfen[1] HE Hongyuan[1] LIU Qin[5]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Yunnan Agricultural University*, *Kunming* 650201, *China*; 2. *Yunnan Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science*, *Kunming* 650201, *China*; 3. *College of Life Science and Chemistry*, *Hunan University of Technology*, *Zhuzhou* 412007, *China*; 4. *Animal Husbandry and Veterinary Station of Anning*, *Kunming* 630300, *China*; 5. *Dairy Production Performance Measurement Center of Kunming, Kunming* 650041, *China*)

Abstract**:** This experiment was conducted to analysis the contents of milk fat, milk protein, milk lactose and milk urea nitrogen of buffalo milk and those correlation with milk energy, and to established the prediction model of milk production net energy for scientific feeding management of lactating dairy buffalo. A total of 304 milk samples were collected from the main milk buffalo farms and farming communities in *Yunnan* province at 2014 to 2015 years 9 to 12 months, which were sent to *Kunming* Milk Production Center. The

milk composition of the buffalo milk was detected by the MilkoScan FT+FC and MilkoScan FT 120 analyzer in *Kunming* Dairy Production Center, and milk energy was determined by oxygen bomb calorimeter after constant temperature drying in vacuum drying oven. The results showed that milk fat, milk protein, milk lactose, milk urea nitrogen, milk total solids and milk energy were 6.45%, 4.55%, 5.31%, 13.60 mg/dL, 18.77% and 4.02 MJ/kg, respectively. And there was significant positive correlation between milk energy and milk fat, milk protein (r=0.896 0, r=0.5630, P<0.01). The milk energy was greater impacted by milk fat and milk protein. Moreover, the fitting degrees of the one, two, three and four regression equations were above 0.90 to predict the net energy (E) of buffalo milk by using milk fat (F), milk fat and milk protein (F and P), milk fat, milk protein and milk lactose (F, P and La), milk fat, milk protein, milk lactose and milk urea nitrogen (F, P, La and MUN) as predictors, and regression equations were as followed: $E=0.388F+1.540$ （R^2=0.933 6, P＜0.01）; $E=0.373F+0.221P+0.460$ （R^2=0.926 7, P＜0.01）; $E=0.396F+0.186P+0.105La-0.104$ （R^2=0.954 0, P＜0.01）; $E=0.397F+0.187P+0.106La+0.002MUN-0.146$（$R^2$=0.958 0, P＜0.01）. In conclusion, the milk production net energy can be predicted by the contents of milk fat, milk protein, milk lactose and milk urea nitrogen of buffalo milk.

Key words: buffalo milk; milk composition; milk energy; prediction model

---

*Corresponding authors: MAO Huaming, professor, E-mail: maohm@vip.sina.com; LI Wen, associate professor, E-mail: 331631693@qq.com (责任编辑　武海龙)